

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-110094

(43)公開日 平成6年(1994)4月22日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35		8106-2K		
H 0 4 B 10/18		8220-5K	H 0 4 B 9/ 00	M

審査請求 未請求 請求項の数1(全 7 頁)

(21)出願番号	特願平4-279158
(22)出願日	平成4年(1992)9月25日

(71)出願人	000001214 国際電信電話株式会社 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号
(72)発明者	多賀 秀徳 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際 電信電話株式会社内
(72)発明者	鈴木 正敏 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際 電信電話株式会社内
(72)発明者	枝川 登 東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際 電信電話株式会社内
(74)代理人	弁理士 大塚 学

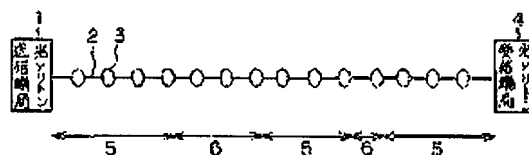
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光通信伝送路

(57)【要約】

【目的】従来のダイナミックソリトン伝送に代わる実用的な光ソリトン伝送システムの光伝送路の提供を目的とするものである。

【構成】伝送路である光ファイバの波長分散を複数個の増幅器を含む長い区間毎に制御することにより光ソリトンパルスの伝送を制御する光通信伝送路である。具体的には、光ファイバの波長分散の平均値が、ソリトン条件を満足する分散値よりも相対的に大きい区間と波長分散の平均値が相対的に小さい区間を組合せて、それら交互に繰り返させることにより、全伝送距離にわたっての平均分散値を正の値となるようにして、光ソリトンパルスの伝送を制御するものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 リターンゼロ光パルスにデジタル情報を加えた光信号を送信する光送信端局と、該光信号を受信する光受信端局と、該送信端局と該受信端局とを結ぶ伝送用光ファイバと、該伝送用光ファイバ上に該光ファイバの損失を補償する複数台の光増幅中継器とを有する光通信送路において、

該伝送用光ファイバが、該伝送用光ファイバの全長の波長分散値の平均値が該光受信端局において受光する該光パルスに加えられるパルス圧縮効果とパルス広がり効果とが補償されるような正の値であり、該全長の波長分散値の平均値よりも相対的に大きい波長分散の平均値を有する第1の区間と該全長の波長分散値の平均値よりも相対的に小さい波長分散の平均値を有する第2の区間とが交互に繰り返して配置されているように構成されていることを特徴とする光通信送路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ファイバを用いた伝送システム、特に光ソリトンパルスと光増幅器を使用した光通信システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光ファイバ通信技術は、光増幅技術の進展にささえられ超長距離化が進んでおり、再生中継器を使用せずに太平洋横断も可能となってきた。しかしなが*

$$\lambda^2 A_{eff} D$$

$$P_{sol} = 0.776 \frac{\pi^2 c n_2 \tau^2}{\lambda^2 A_{eff} D} \quad (1)$$

ただし(1)式において、 λ は光信号の波長、 A_{eff} は光ファイバの実効断面積、 c は光速、 n_2 は光ファイバの非線形定数、 τ は光ソリトンパルスの半値全幅である。

【0004】ところで、実際の光ファイバにはかならず損失がある。従って、ファイバへの入力端で光のピークパワーと分散値が釣り合っている、伝送するに従いピークパワーが減少するため、分散の効果が大きくなり、光のパルスの幅が広がってしまい光ソリトンの性質を失ってしまう。これを補償し光ソリトンパルスの長距離伝送を可能とする技術として、該光損失を光増幅器によって補償し、かつ光ファイバの入射端における光パルスのピークパワーを(1)式で表されるパワーより若干大きめに設定する方法が提案されており、ダイナミックソリトン伝送と呼ばれている(参考文献：M. Nakazawa et al, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol.26, pp.2095-2102, 1992)。

【0005】ダイナミックソリトン伝送法では、伝送の*

$$Z_0 = 0.322 \frac{\pi^2 c}{\lambda^2 A_{eff} D} \quad (2)$$

ら、従来の伝送方式では、伝送速度が高くなると光ファイバの波長分散特性や非線形光学効果に基づく伝送特性の劣化の影響が大きくなり、高速・大容量化には限界があった。この波長分散特性や非線形光学効果による高速化の限界を打破する方式として、光ソリトン通信方式が近年脚光を浴びている。光ソリトン通信方式は、従来の伝送方式の特性劣化要因である光ファイバの波長分散特性や非線形光学効果を積極的に利用するものである。光ソリトン通信方式に用いられる光ソリトンパルスでは、ファイバの波長分散によるパルス広がりや非線形光学効果に基づくパルス圧縮がバランスしているため、パルス波形が変化せずに伝送することが可能である。光ソリトンパルスを用いた光通信システムは、現在実用化されている直接変調方式の光通信システムと比較した場合に、大容量化が可能であること、多重化が容易であること、光ファイバの非線形性を利用するので該非線形性による劣化がないこと、等の利点があり、現在実用化に向けての研究が進められている。光ソリトンパルスが理想的な振る舞いを示すためには、光ファイバに損失がなく、光ファイバの波長分散 D と光ソリトンパルスのピークパワー P_{sol} とが次式を満足する必要がある。(参考文献：L.F. Mollenauer et al., Journal of Lightwave Technology, Vol.9, pp.194-197, 1991)

【0003】

【数1】

※最初の部分においては光パルスのピークパワーが高いために光ファイバの非線形性の影響が強く、光パルスが圧縮されるが、伝送の後半部分で光ファイバの損失により光パルスが減衰すると、光ファイバの波長分散の影響が支配的となり光パルスが広がる。パルスが広がり過ぎるのを防止するために、一度圧縮されたパルスが広がって、元と同じパルス幅となったところで光増幅器を通すことにより、光ソリトンとしての性質を失わずに光ファイバの損失を光増幅器で補償することができる。この場合には、光パルスのピークパワーのかわりに、光ファイバ伝送中の区間平均パワーが式(1)を満足すればよい。図6にダイナミックソリトン伝送の光パルス幅と光信号レベルの関係を示す。また、(1)式中の光ファイバの波長分散量はある区間中の平均値として表されたものである。その区間の区間長 Z_0 は次式で表される長さよりも短かければよい。

【0006】

【数2】

τ は光ソリトンパルスの半値全幅である。(2)式で表される長さ 2τ を通常ソリトンピリオドと呼んでいる。ソリトンピリオドよりも十分に短い区間のファイバの波長分散の平均値が(1)式を満足していれば、光ソリトンパルスの伝送は可能となる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】ダイナミックソリトン伝送では、光ソリトンパルスのピークパワーをコントロールすることにより、光増幅器間の光ファイバの入力と出力の光パルスの幅が同一になるようにして、光ソリトンパルスの伝送を制御している。各光増幅器への入力毎にパルス幅を制御する従来のダイナミックソリトン伝送では、各ファイバスパン毎にその波長分散値の平均値をほぼ同一に設定する必要がある。しかしながら、太平洋横断などの10000km程度の超長距離光通信システムにおいて、30kmから50kmの光ファイバスパン全ての波長分散値を同一にすることは、光ファイバ製造上のばらつきなどの技術上の問題では不可能であった。

【0008】本発明は、従来のダイナミックソリトン伝送に代わる実用的な光ソリトン伝送システムの光伝送路の提供を目的とするものである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、伝送路である光ファイバの波長分散を複数個の増幅器を含む長い区間毎に制御することにより光ソリトンパルスの伝送を制御する光通信伝送路である。具体的には、光ファイバの波長分散の平均値が、ソリトン条件を満足する分散値よりも相対的に大きい区間と波長分散の平均値が相対的に小さい区間を組合せて、それら交互に繰り返させることにより、全伝送距離にわたっての平均分散値を正の値となるようにして、光ソリトンパルスの伝送を制御するものである。

【0010】

【原理】本発明の原理を図面を用いて説明する。図1は、本発明の光通信伝送路の構成を示す。1は光ソリトン送信端局、伝送用光ファイバ、3は光ファイバの損失を補償するための光増幅中継器、4は光ソリトン受信端局である。5は相対的に波長分散値が大きい区間、6は相対的に波長分散値が小さい区間である。図2は、横軸に距離、縦軸に分散値、光パルス幅、光パルスピークパワーを取り、それぞれ光ファイバの分散値の変化、光パルス幅の変化及び光パルスピークパワーの変化を示す。

【0011】送信光パルスの波形は、光ソリトン伝送に必要なとなる sech^2 型である。全体の光伝送路波長分散値の平均値は、光ファイバのカー効果(非線形光学効果)によるパルス圧縮を補償できるようプラスの値としてあり、光伝送路を波長分散の小さい区間と大きい区間

ば満足するように全光伝送路の波長分散値の平均値を設定してある。波長分散値が相対的に小さい区間5では、平均的には非線形光学効果の影響が支配的であり、光パルスはマクロ的にはわずかながら圧縮されていく。個々の光増幅中継器間の光ファイバ毎にミクロ的に見た場合は、光ファイバに入射した光パルスは始めのうちは非線形光学効果が支配的であるためパルス圧縮を生じるが伝送距離が進むにつれ光が減衰するために非線形光学効果の影響が弱まりファイバの分散の影響を受け圧縮がとまりわずかに広がり始める場合もあるし、単調に圧縮する場合もある。いずれの場合でも、平均的には、パルスは圧縮を受けながら伝送していく。その後に平均分散値が相対的に大きい区間6を設ける。区間6では波長分散効果が支配的となるため、ミクロ的にパルス圧縮、パルス広がりを経りながらも、平均的にはパルスは広げられていき、伝送光パルスは送信パルスとほぼ同一のパルス幅まで復帰させることができる。

【0012】本発明では、波長分散値を光増幅中継器毎に厳密に制御する必要がない。また、波長分散値の平均値が相対的に小さい区間と大きい区間の長さは、必ずしも等しい必要はなく、かつ交互に現われる場合にそれぞれの長さが等しい必要もない。更に、分散値の相対的に大きい区間と小さい区間の順番はどちらでもよい。図3(a)は、相対的に波長分散値の大きい区間を伝送した後の波形であり(半値幅は約40ps)、送信波形よりもわずかに広がっている。図3(b)はその後に波長分散の平均値が相対的に小さい区間6を伝送したときの波形である(半値幅は約35ps)。従って、(b)図の方が(a)図に比べてパルス幅が狭くなっており、従来のダイナミックソリトン伝送のように光増幅中継器毎の厳密な波長分散制御によるパルス制御をおこなわずに平均分散値制御によるパルス制御が可能であることがわかる。

【0013】

【実施例】図4は、光通信伝送路の一実施例を示す。1は光ソリトン送信端局、2は伝送用光ファイバ、3は光増幅中継器、4は光ソリトン受信端局である。送信端局1からの発振波長1.558ミクロンの短光パルスは5Gb/sの伝送速度で疑似ランダム変調をされている。光増幅中継器3は、約33kmスパンで配置した。各光増幅器3の出力パワーは-4dBmおよび光送信パルス幅35psとし、伝送用光ファイバ2の全長3000kmの全平均分散値は、全体ではソリトン条件を満足するように+0.4ps/km/nmに設定した。伝送用光ファイバ2は、長さの異なる17区間で構成されており、各区間の配置は、その区間平均分散値が全平均分散値に比べて相対的に小さいものと大きいものが交互に繰り返して現われるように構成した。

【0015】

【表1】

区間1	429 km、	平均分散値 = -0.043ps/km/nm
区間2	33 km、	平均分散値 = +2.45ps/km/nm
区間3	99 km、	平均分散値 = -0.37ps/km/nm
区間4	66 km、	平均分散値 = +2.36ps/km/nm
区間5	66 km、	平均分散値 = -0.86ps/km/nm
区間6	66 km、	平均分散値 = +2.27ps/km/nm
区間7	429 km、	平均分散値 = -0.076ps/km/nm
区間8	66 km、	平均分散値 = +2.06ps/km/nm
区間9	297 km、	平均分散値 = -0.068ps/km/nm
区間10	33 km、	平均分散値 = +3.85ps/km/nm
区間11	462 km、	平均分散値 = -0.043ps/km/nm
区間12	33 km、	平均分散値 = +2.45ps/km/nm
区間13	247 km、	平均分散値 = -0.079ps/km/nm
区間14	33 km、	平均分散値 = +1.82ps/km/nm
区間15	462 km、	平均分散値 = -0.037ps/km/nm
区間16	33 km、	平均分散値 = +3.22ps/km/nm
区間17	146 km、	平均分散値 = -0.003ps/km/nm

3000 km伝送後の受信波形には、顕著な広がりや圧縮は観測されておらず、また、符号誤り率を測定したところ 10^{-10} 以下の良好な伝送特性が得られ、本発明により安定に光ソリトン伝送が達成されることが確認された。

【0016】本実施例では、従来のダイナミックソリトン伝送のように、各光増幅器の入出力端で波形が等しくなるように分散値を制御していないにも関わらず、比較的長い区間の平均値で波長分散値を制御することにより、安定な光ソリトン伝送を行うことができる。尚、本実施例では、初めに光ファイバの分散値の相対値の小さい区間、次に大きい区間を配置して、光ソリトン伝送路を構成したが、逆の順番で構成しても良い。更に、伝送用光ファイバは、波長1.55ミクロン近傍に零分散波長のある分散シフトファイバのみで構成しても良いし、*

*途中に分散値の大きい通常のシングルモードファイバ（零分散波長：1.3ミクロン）を挿入して平均波長分散値を調整しても良い。

【0017】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、ダイナミックソリトン伝送では1中継区間毎に光ソリトンパルスを制御するため、各中継器、光伝送路に高い精度が求められるが、本発明ではいくつかの中継区間をまとめてコントロールするため、光ファイバの製造上のばらつきは、その配置を制御することにより吸収できる。また、分散値の各中継区間を見た場合には設計の自由度が増し、安定度の高い光通信伝送路を構築することが容易となる。従って、本発明では光ファイバの分散値のばらつきに対して許容範囲が広がり、本発明の効果は、実用的なソリトン伝送システムの実現のためには著しい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光通信伝送路を示す構成図である。

【図2】本発明の光通信伝送路によるソリトンパルスのパルス幅の制御を説明する図である。

【図3】本発明の光通信伝送路による光パルス波形を示す図である。

【図4】本発明の光通信伝送路の実施例を示す構成図である。

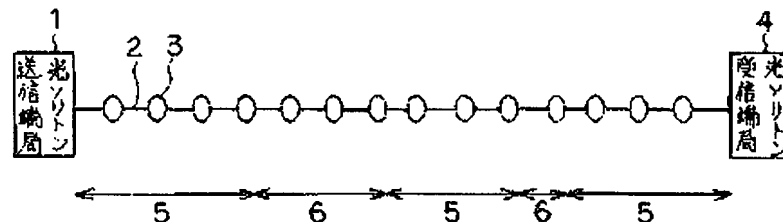
【図5】本発明の光通信伝送路の実施例における区間波長分散値を示す図である。

【図6】従来方式によるソリトンパルスのパルス幅の制御を説明する図である。

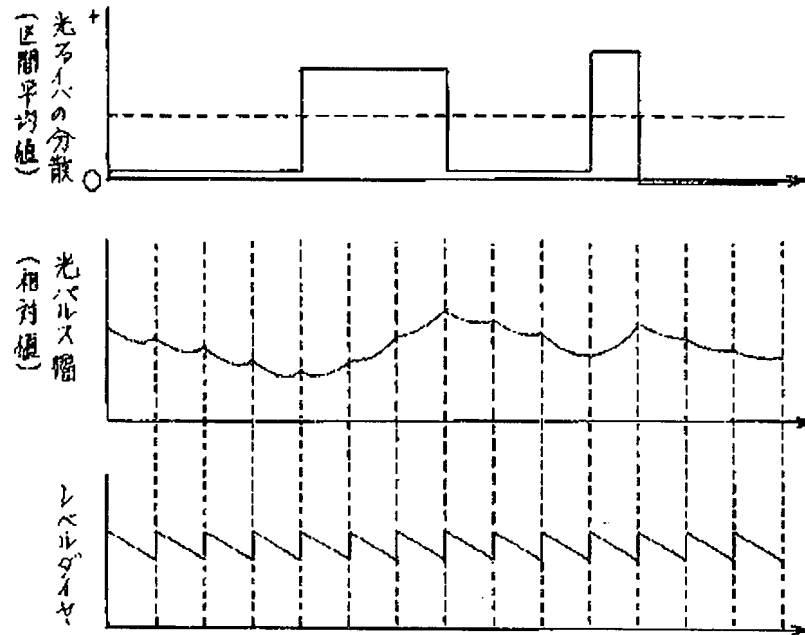
【符号の説明】

- 1 光ソリトン送信端局
- 2 伝送用光ファイバ
- 3 光増幅中継器
- 4 光ソリトン受信端局
- 5 相対的に波長分散が大きい区間
- 6 相対的に波長分散が小さい区間

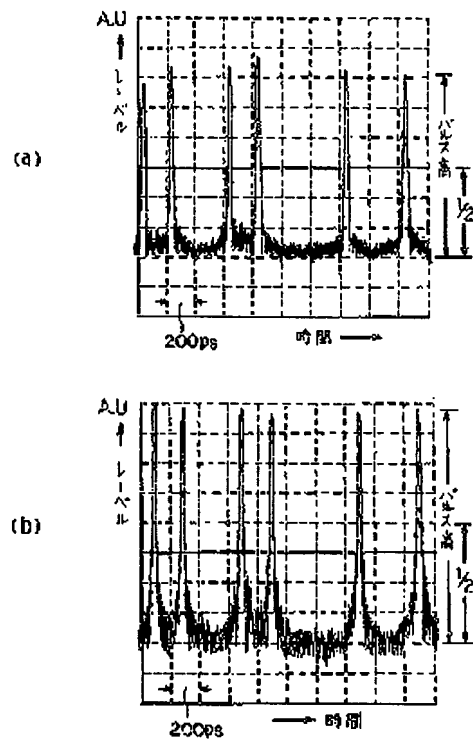
【図1】



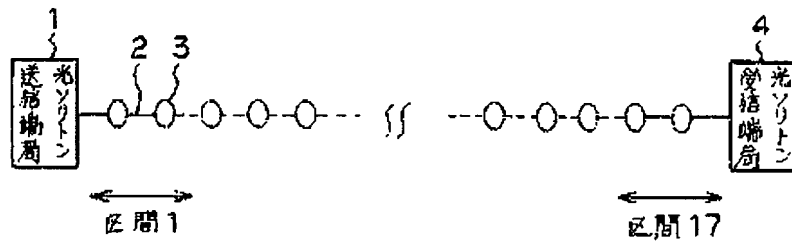
【図2】



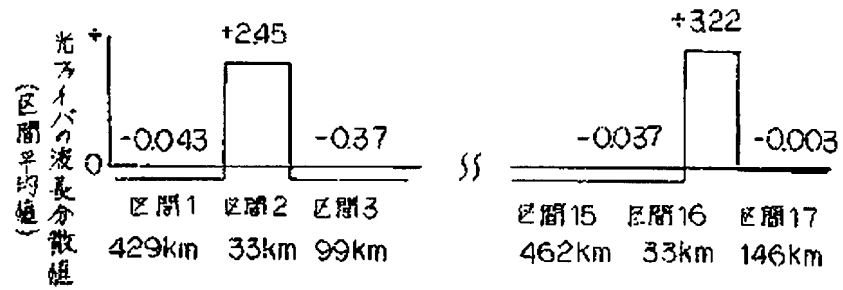
【図3】



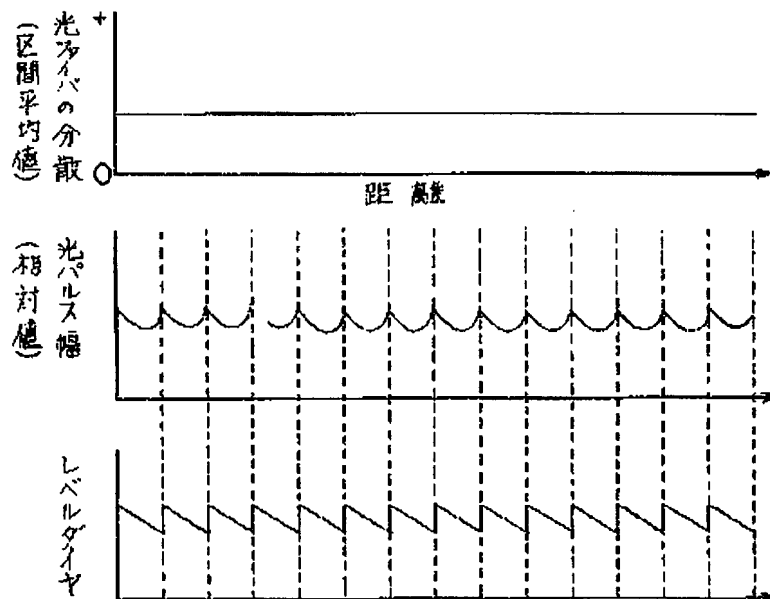
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 周
東京都新宿区西新宿二丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(72)発明者 若林 博晴
東京都新宿区西新宿二丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06110094 A**

(43) Date of publication of application: **22.04.1994**

(51) Int. Cl. **G02F 1/35**
H04B 10/18

(21) Application number: **04279158**
(22) Date of filing: **25.09.1992**

(71) Applicant: **KOKUSAI DENSHIN DENWA CO LTD <KDD>**
(72) Inventor: **TAGA HIDENORI**
SUZUKI MASATOSHI
EDAKAWA NOBORU
YAMAMOTO SHU
WAKABAYASHI HIROHARU

(54) OPTICAL COMMUNICATION TRANSMISSION LINE

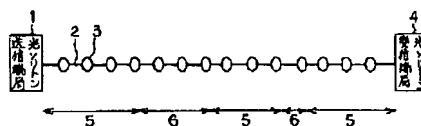
(57) Abstract:

PURPOSE: To provide the optical transmission line of a practical optical soliton transmission system which substitutes for conventional dynamic soliton transmission.

CONSTITUTION: The optical communication transmission line controls the transmission of light soliton pulses by controlling the wavelength variance of an optical fiber 2 being the transmission line at every long section including plural amplifiers 3. In concrete, a section 5 wherein the mean value of the wavelength

variance of the optical fiber 2 is relatively larger than a variance value meeting soliton requirements and a section 6 wherein the mean value of the wavelength variance is relatively smaller are combined and alternated to obtain so as to let a mean variance value over a long transmission distance be a positive value, thus controlling the transmission of the light soliton pulses.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



OPTICAL COMMUNICATION TRANSMISSION LINE**Publication number:** JP6110094**Publication date:** 1994-04-22**Inventor:** TAGA HIDENORI; SUZUKI MASATOSHI; EDAKAWA NOBORU; YAMAMOTO SHU; WAKABAYASHI HIROHARU**Applicant:** KOKUSAI DENSHIN DENWA CO LTD**Classification:****- international:** **G02F1/35; H04B10/02; H04B10/18; G02F1/35; H04B10/02; H04B10/18; (IPC1-7): G02F1/35; H04B10/18****- European:** H04B10/18S**Application number:** JP19920279158 19920925**Priority number(s):** JP19920279158 19920925**Also published as:**

US5471333 (A1)

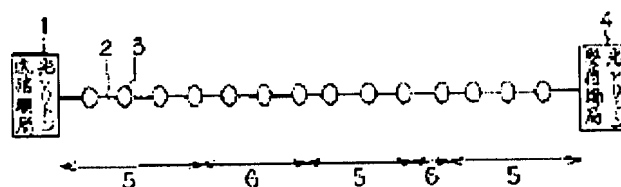
GB2271236 (A)

Report a data error here

Abstract of JP6110094

PURPOSE: To provide the optical transmission line of a practical optical soliton transmission system which substitutes for conventional dynamic soliton transmission.

CONSTITUTION: The optical communication transmission line controls the transmission of light soliton pulses by controlling the wavelength variance of an optical fiber 2 being the transmission line at every long section including plural amplifiers 3. In concrete, a section 5 wherein the mean value of the wavelength variance of the optical fiber 2 is relatively larger than a variance value meeting soliton requirements and a section 6 wherein the mean value of the wavelength variance is relatively smaller are combined and alternated to obtain so as to let a mean variance value over a long transmission distance be a positive value, thus controlling the transmission of the light soliton pulses.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

